

### 6.3 Ondes électromagnétiques vide-Exercice 12

1- Soit une onde plane monochromatique de fréquence  $\nu$ , de champ électrique  $\vec{E} = E_0 \cos(\omega t - kx) \vec{u}_y$ .

On rappelle que l'éclairement  $\epsilon$  est la puissance moyenne qui traverse une surface d'aire unité perpendiculaire à la direction de propagation. Exprimer  $\epsilon$  en fonction de  $\epsilon_0$ ,  $c$  et  $E_0$ .

2- On considère cette onde comme un faisceau de photons se propageant dans la direction et le sens de  $(Ox)$ .

a- Exprimer le nombre  $N_0$  de photons traversant par unité de temps l'unité de surface perpendiculaire à  $(Ox)$  en fonction de  $\epsilon$ ,  $\nu$  et de la constante de Planck  $h$ .

b- L'onde arrive sur une surface plane perpendiculaire à  $(Ox)$  d'aire  $S$  parfaitement réfléchissante. On étudie le rebond des photons sur cette surface.

- Quelle est la quantité de mouvement reçue par la paroi au cours d'un choc photon-paroi ?
- Quelle est la force subie par la paroi en fonction de  $\epsilon$ ,  $S$  et  $c$  ?
- Exprimer la pression  $P$  subie par la paroi en fonction de  $\epsilon$  et  $c$  puis en fonction de  $\epsilon_0$  et  $E_0$ .

c- Reprendre la question précédente lorsque la paroi est parfaitement absorbante.

d- Calculer  $\epsilon$ ,  $E_0$  et  $P$  sur une paroi totalement absorbante pour un laser ayant un diamètre  $d = 5,0$  mm et une puissance moyenne  $P = 1,0 \cdot 10^2$  W (laser utilisé en industrie pour la découpe).

3-a- L'onde est maintenant absorbée par une sphère de rayon  $a$  inférieur au diamètre du faisceau.

Quelle est en fonction de  $\epsilon$ ,  $a$  et  $c$  la force subie par la sphère ?

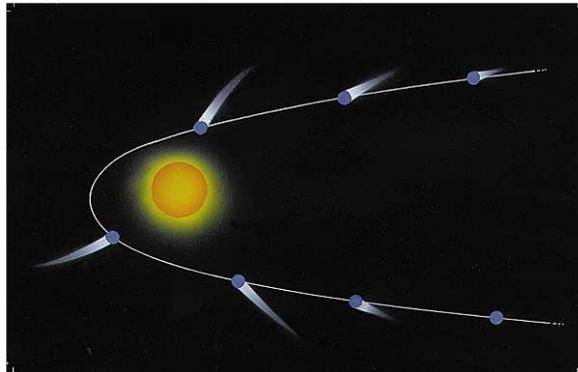
b- Le Soleil (masse  $M = 2,0 \cdot 10^{30}$  kg) donne au voisinage de la Terre, située à  $D = 150 \cdot 10^6$  km, l'éclairement  $\epsilon = 1,4 \cdot 10^3$  W.m<sup>-2</sup>. Quelle est la puissance  $P_0$  émise par le Soleil ?

• Un objet sphérique de rayon  $a$ , de masse volumique  $\mu$ , est dans le vide interplanétaire à la distance  $r$  du Soleil et absorbe totalement le rayonnement solaire.

Evaluer le rapport entre la force due à l'absorption du rayonnement solaire et la force gravitationnelle exercée par le Soleil sur cet objet dans les deux cas suivants :

- météorite ( $a = 1,0$  m et  $\mu = 3,0 \cdot 10^3$  kg)
- poussière interstellaire ( $a = 0,10$   $\mu$ m et  $\mu = 1,0 \cdot 10^3$  kg.m<sup>-3</sup>)

Interpréter l'orientation de la queue d'une comète.



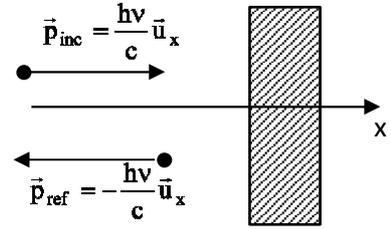
### 6.3 Ondes électromagnétiques vide-Exercice 12

$$1- \vec{B} = \frac{\vec{u}_x \wedge \vec{E}}{c} = \frac{E_0}{c} \cos(\omega t - kx) \vec{u}_z \Rightarrow \vec{\Pi} = \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_0} = \frac{E_0^2}{\mu_0 c} \cos^2(\omega t - kx) \vec{u}_x \Rightarrow \boxed{\varepsilon = \langle \Pi \rangle = \frac{E_0^2}{2\mu_0 c} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 c E_0^2}$$

2-a) L'énergie traversant 1 m<sup>2</sup> pendant 1 s est ε. Chaque photon a l'énergie hv. Donc :  $N_0 = \frac{\varepsilon}{hv}$

b) • Lors d'un choc :  $\Delta \vec{p}_{\text{photon incident}} = \vec{p}_{\text{ref}} - \vec{p}_{\text{inc}} = -\frac{2hv}{c} \vec{u}_x$

Donc :  $\Delta \vec{p}_{\text{paroi}} = \frac{2hv}{c} \vec{u}_x$



• Théorème de la quantité de mouvement à la paroi :

$$\frac{d\vec{P}_{\text{paroi}}}{dt} = \vec{F}_{\text{photons} \rightarrow \text{paroi}} = \frac{\text{nombre de photons incidents pendant } dt \cdot \Delta \vec{p}_{\text{paroi}}}{dt}$$

$$\vec{F}_{\text{photons} \rightarrow \text{paroi}} = \frac{N_0 S dt \cdot \Delta \vec{p}_{\text{paroi}}}{dt} = N_0 S \frac{2hv}{c} \vec{u}_x$$

Donc :  $\vec{F}_{\text{photons} \rightarrow \text{paroi}} = S \frac{2\varepsilon}{c} \vec{u}_x$

• Cette force est proportionnelle à S donc :  $P = \frac{2\varepsilon}{c} = \varepsilon_0 E_0^2$

c) Il n'y a pas de photons réfléchis donc les résultats sont divisés par 2.  $P = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E_0^2$

d)  $\varepsilon = \frac{P}{\pi \frac{d^2}{4}}$  A.N :  $\varepsilon = 5,1.10^6 \text{ W.m}^{-2}$  ;  $E_0 = 6,2.10^4 \text{ V.m}^{-1}$  ;  $P = 1,7.10^{-2} \text{ Pa}$

3-a)  $\vec{F}_{\text{onde} \rightarrow \text{sphère}} = P \pi a^2 \vec{u}_x$  (l'onde « voit » la section droite de la sphère)

Donc :  $\vec{F}_{\text{onde} \rightarrow \text{sphère}} = \frac{\varepsilon}{c} \pi a^2 \vec{u}_x$

b) •  $P_0 = 4\pi D^2 \varepsilon$  A.N :  $P_0 = 4.10^{26} \text{ W}$

•  $\|\vec{F}_{\text{gravitationnelle}}\| = G \frac{\mu \frac{4}{3} \pi a^3 M}{r^2}$  ;  $\|\vec{F}_{\text{onde} \rightarrow \text{sphère}}\| = \frac{\pi a^2}{c} \varepsilon(r) = \frac{\pi a^2}{c} \frac{P_0}{4\pi r^2}$

Donc :  $\frac{\|\vec{F}_{\text{onde} \rightarrow \text{sphère}}\|}{\|\vec{F}_{\text{gravitationnelle}}\|} = \frac{3P_0}{16\mu GcMa}$

A.N : météorite :  $\frac{\|\vec{F}_{\text{onde} \rightarrow \text{sphère}}\|}{\|\vec{F}_{\text{gravitationnelle}}\|} = 6,2.10^{-7}$  poussière :  $\frac{\|\vec{F}_{\text{onde} \rightarrow \text{sphère}}\|}{\|\vec{F}_{\text{gravitationnelle}}\|} = 18,5$

Les queues des comètes sont formées de poussières. Celles-ci sont soumises essentiellement à la force de pression de radiation. Elles vont donc s'orienter à l'opposé du Soleil.